乗用車ボデー設計と衝突安全

槇 野 浩 司*

1. はじめに

(1) ボデーへの要求性能

ボデーには多様な性能が要求される(図1)。通常走行時には剛性、振動などの弾性変形領域の特性が要求され、これらに対応した設計がとりわけ重要である。ところが事故による衝突発生時には乗員保護のために衝突エネルギーの吸収と客室空間の確保が要求される。この観点からはボデーには塑性変形領域の特性が要求され、これに対応した設計も重要である。本稿では衝突安全に関わるボデーについて概説する。

(2) 衝突安全

車の安全は「人、車、交通環境」の3者が一体となって初めて実現できるものである。また、安全は「安全走行、事故予防、事故回避、衝突安全、救出救護」の5段階のフェーズに分けて考えることができる(図2)。衝突安全において車、特にボデーが重要な役割を担っていることを示している。

図1 ボデーへの要求性能。

図2 安全なクルマづくりの視点(1)。

2. 衝突安全の評価方法

(1) 市場事故形態

図3は死亡事故の衝突方向分析である。前面衝突が最も多く、次が側面衝突となっている。また、前面衝突での相手車両とのラップ量の事故統計データによれば約7割が60%までのオフセットラップ量となっている。ここでは、前面衝突を例にしたボデーの衝突安全について述べる。

(2) 前面衝突

前面衝突評価法にはフルラップバリア衝突評価(以降フルラップ衝突)とオフセットデフォーマブルバリア衝突評価(以降オフセット衝突)がある。フルラップ衝突でのボデー変形量はオフセット衝突に比べて比較的小さく、衝撃、減速度による乗員傷害が問題になる場合が多い。従って、シートベルトやエアバッグ等の拘束装置の性能評価に有効である。オフセット衝突は実際の事故に多いオフセット車対車衝突形態を

* トヨタ自動車株式会社第1車両技術部主担当員(〒471-8572 豊田市トヨタ町1)
Crash Safety Body Design of Passenger Cars; Koji Makino(TOYOTA MOTOR CORPORATION, Toyota)
Keywords: *frontal off-set crash, frontal rigid barrier crash energy absorption, plastic deformation*
1999年5月11日受理

図3 衝突部位別死者数⁽²⁾.

図4 前面衝突評価.

模擬する。この評価ではボデー変形量が大きく、ボデーの生存空間を評価するのに有効である(図4)。

車両に搭載したダミーを用いて傷害値を計測する。主な計測項目は頭部衝撃度(HIC)、胸部減速度(胸g)、胸たわみ、ビスカスクライテリア、下肢荷重である。客室変形についてはトーボード侵入量、フロントピラーの後退量、ステアリング突出量等を代表計測点とし、生存空間や脱出性を評価している。

3. 前面衝突での傷害低減の考え方

(1) 乗員傷害

フルラップ衝突の場合、車両全面が剛壁に衝突するためボデーは大きな衝撃を受け急激に停止する。この時乗員はシートベルトやエアバッグで拘束されながら停止する。この停止までの時間が短い場合には、作用する減速度が大きくなり人体の耐性限界を超える場合がある。このような衝突時の衝撃による傷害の低減には、乗員の減速距離を大きくとり耐性限界内の減速度で停止させることが重要である。図5は前面衝突時のボデーおよび乗員の速度-時間線図をモデル化したものである。ボデーは衝突直後から減速を開始し、ボデーの減速線図はボデー変形特性の影響が、そして乗員の減速線図は

図5 車体とダミー胸部の速度-時間線図.

拘束装置特性の影響がそれぞれ大きい。各曲線の下面積が移動量または変形量を表している。車室内の限られた移動量の中で効率良く乗員を減速させるのが拘束装置の役目であるが、ボデー変形量が小さ過ぎると乗員の減速に十分な距離が取れず、傷害の程度が増加することになる。このような理由から客室より前のボデー部分はより多く変形させる必要が有るといえる。

一方、オフセット衝突の場合はボデーの衝突側半分が荷重を分担するため、フルラップ衝突と比べてボデーに働く減速度は小さい。しかし低い荷重で衝突エネルギーを吸収しなければならないため大きい変形量を必要とし、客室部分まで変形が及ぶことがある。そして客室部の変形が大きいときは、はさまれ等で乗員が受傷する場合がある。しかし、この変形量を減らすために単純に強度を上げるとフルラップ衝突時に変形量の減少を招き、乗員の減速特性が悪化することになる。この変形量と強度のバランスをうまくとることが前面衝突を考える時のポイントである。特に高速領域までオフセット衝突性能を考えたボデーの場合はボデー、拘束装置共に種々の技術的課題を達成する必要がある。

(2) ボデー特性

様々な前面衝突形態に対応するには前節で述べたようにフルラップ衝突時の乗員衝撃力より決まる下限値とオフセット衝突より決まる上限値の間にボデー変形量を収める必要がある。この関係を図6に示す。ボデーの変形荷重と変形量の関係をフルラップとオフセット衝突について示している。この特性を成立させるには、客室より前の変形量を最大にすること、オフセット衝突時に反衝突側の荷重分担を増やすことの2つが重要である。

図7に前面衝突時の荷重の流れを示す。フロントサイドメンバから入った衝突荷重はダッシュやメンバリアを介してフロア部とフロントピラー部へ伝達される。変形させるべき部位はフロントサイドメンバとアップメンバであり、軸圧縮座屈によりエネルギー吸収効率を高くしたり、曲げ座屈により変形モードの安定性を高くしたりする。一方、変形させない部位は客室を構成するロッカ、フロアトンネル、フロントピ

図6 前面衝突時の荷重変形特性.

図7 前面衝突時の荷重の流れ⁽³⁾.

ラー等であり、これらの部品は変形量を小さく保つために特に曲げ座屈を起こさない強度とする必要がある。また剛な部品同士が干渉してクラッシュストロークを減少させないようエンジンコンパートメント内部の部品を配置することも大切である。

次に変形モードのコントロールの例としてフロントサイドメンバについて述べる。この部材は、前部を軸圧縮変形させ後部を曲げ座屈させることで効率良くエネルギー吸収させながら客室の前側で潰しきることができる。このモードはメンバ強度分布の適正化、すなわち軸圧縮強度と曲げ強度を適切に選ぶことで実現できる(図8)。その結果、メンバ部でのエネルギー吸収量を増加させ客室の変形を小さくできる(図9)。図6のボデー変形量目標を満たすには、以上のように各部材について様々な変形特性を実現する必要がある。各部

図8 フロントサイドメンバ強度分布の例⁽⁴⁾.

図9 フロントサイドメンバ部荷重特性⁽⁴⁾.

材の強度バランスは図7に基づき過不足なく決定する必要がある。バランスが悪いと変形モードが悪くなり客室変形の増大を招く場合がある。また構造の最適化にはCAEを用いた衝突解析が有効である。CAE解析では部材毎の入力や歪み状態がより詳細に把握できるため、的確な構造開発が可能になる。

4. ボデー構造

(1) 「GOA」ボデーの考え方

前述したように、乗員傷害を生じる要因は、乗員が客室部分と衝突する時の衝撃力で受傷するものと、変形した客室部分にはさまれたり潰されたりして受傷するものの二つがある。乗員傷害を低減するには、この二つの面からのアプローチが重要であると言える。「GOA」ボデーのコンセプトは「衝撃吸収ボデー」+「高強度キャビン」であり、これは客室以外の部分を効率良く潰すことで乗員の生存空間を十分に残すことである。そしてシートベルトやエアバッグ等の拘束装置とうまく組み合わせることで乗員傷害の低減を狙ったものである。

また「GOA」は事故調査に基づく実安全の向上を目的として将来に向けて技術の向上とともにさらに進化していくものである。

(2) CAE 解析の活用

破損現象の観点から乗用車の衝突事故を観れば、ボデーの塑性変形メカニズムと共に、人体の傷害発生メカニズムで構成されている現象といえる。ボデーの塑性変形現象を解明するためにボデーの設計に CAE 解析を活用し、塑性変形特性の詳細な設計が可能になってきた。一方、人体の傷害発生メカニズムや耐性についても従来より様々な研究や検討がされているが、最近では CAE 解析も活用され始めている。

(3) 塑性変形システム

物理現象の観点から観れば衝突は非常に短い時間で完了する現象であり、この僅かな時間内にボデーは乗員を保護する役目を果たす塑性変形システムとして働かなければならない。すなわち、ボデーには高度な塑性変形特性が要求されている。各々の部材は発生する荷重と変形する順序や変形モード等が詳細に検討され、各々の部材の特性を組み合わせたボデー全体の特性が乗員を最大限に保護するように、塑性変形システムとしてボデー構造が設計される。しかし、衝突は物理法則に従う現象であるので限られたスペースの中では自ずと保護できる衝突速度の上限がある。また前述のようにボデーに要求される性能は多様であり、衝突だけを考慮したボデーの設計は考えられない。

(4) 今後の課題

環境問題への対応からボデーの軽量化は課題の一つである。軽量化の実現には衝突以外の車両特性も含めての骨格部材や形状等の設計的工夫が重要である。また補強材の追加ではなく変形モードのコントロールによる衝突性能向上も軽量化の有効な手段となる。さらにコンパティビリティ等のトータルな衝突安全性能の向上も今後の課題である。

5. 材料開発への期待

ボデーの衝突性能向上には、新たなコンセプトに基づく合理的構造や CAE による最適化と共に新材料や新工法等を有機的に結びつけることが必要となってくる。

衝撃吸収性、高い塑性変形荷重、衝突時変形の終局まで延性を確保した破断しにくさ、軽量等の新材料が望まれる。また生産性の考慮も必要である。現在のボデーの主要部分は鋼板プレス品であるが、例えばプレス成形時には耐力が低くプレス後の製品としては衝突時に高い塑性変形荷重を発生する材料が望まれる。これの実現のためには製品を製造するうえでの新工法も必要と思われる。さらに部品接合部での新工法の開発も必要である。部品の接合法の現在の主流はスポット溶接であるが、接合強度を向上、応力集中を低減する新工法が望まれる。

合理的なボデー構造の開発へ結び付く新材料と新工法が開発されることを期待したい。現在のボデーの主要な部分は鋼板であるが、多様な要求を満たす新しい材料を適材適所でボデーに用いることも必要である。

文 献

- (1) 大坂邦明: TOYOTA Technical Review, 46, No. 2, (Nov. 1996).
- (2) トヨタ自動車株式会社: 安全への取り組み, 平成 8 年 8 月.
- (3) F. Ikeda and T. Mori: Proc. of IBEC of Interior & Safety Systems, Automotive Technology Group, Inc., (1996), 75-80.
- (4) T. Kitajima and T. Mori: Proc. of IBEC of Automotive Body Design & Engineering, Automotive Technology Group, Inc., (1994), 81-83.

略 号

GOA: global outstanding assessment, 世界トップレベルの衝突安全性評価